（ 様式D－２ ）
（ 別　　紙 ）

令和６年度　海外派遣研究員研究報告書

令和６年９月24日

日本大学理事長　　殿
日本大学学長　　殿

所　　属　歯学部(総合歯学研究所)
資格・氏名　准教授・髙見澤　俊樹

☑本報告書の内容を公表することは，了承しております。
☐本報告書の内容を公表することは，差し控えください。
※いずれかにチェックし(■)提出すること

令和６年度海外派遣研究員（短期A）の研究実績を，下記のとおり報告いたします。

記

１　区　　分　　短期Ａ
２　研究課題

ユニバーサルアドヒーシブ応用型レジンセメント接着耐久性に関する研究

３　派遣期間　　西暦　2024年　7月13日　～　2024年9月23日
４　派　遣　先　　米国
５　研究目的

間接修復の際に使用される装着材料には，様々な特徴を有した装着材料が存在する。次世代レジンセメントとして操作ステップが簡便であるとともに汎用性に優れたユニバーサルアドヒーシブを自己接着性レジンセメントの前処理材として使用する接着システムが開発され注目されている。また，これらの製品のうちいくつかはユニバーサルアドヒーシブとレジンセメントが接触することで接着界面近傍のレジンセメントが重合硬化する接触重合効果を有しており，初期接着性及び接着耐久性の向上が期待される。そこで，バイオメカニカルな観点から繰り返し荷重負荷が可能な接着疲労試験を応用することでユニバーサルアドヒーシブ応用型次世代レジンセメントの初期接着性能および接着耐久性について把握することを目的とする。

（ 様式D－２ ）

６　研 究 概 要

① 研究の方法

初期接着性および接着耐久性

ユニバーサルアドヒーシブ応用型次世代レジンセメントの接着耐久性については，繰り返し荷重負荷が可能な万能試験機を用いて検討する。また，修復材料の装着初期の接着性についてもこの試験法を応用することで，装着直後に生じる外力をシミュレートした条件で評価する。すなわち，接着耐久性の検討に際しては，stair case method を用いて接着疲労強さ試験を行う。ユニバーサルアドヒーシブによって処理された歯質に，直径 2 mm，高さ 4 mm のステンレスロッドを装着，24 時間水中に保管後，10 Hz の正弦波を繰り返し 50,000 回試片に負荷する。その際，規定回数に達する前に試験片が破断した場合と，破断することなく経過した場合で，段階的に荷重負荷を変動させる。最終的に，試験片の脱落個数および負荷荷重からその接着疲労強さを求める。初期接着性能の評価については，接着耐久性試験と同様な方法で行うものの，繰り返し荷重の回数を 50,000 回に設定し，評価する。

接着界面の質的評価

接着界面の質を評価する目的でラマン分光分析からユニバーサルアドヒーシブの歯質浸透性および重合性を明らかとする。すなわち，製作した接着界面について CCD カメラ付属の He-Ne レーザーを用いて，波長 632.8 nm および出力レベル 75 mV の条件で接着界面から歯髄方向に 0.5 μm 間隔でラマン分析を行う。付属のソフトウェアから波長分布を求め，象牙質へのレジンモノマーの浸透性および重合性について検討する（Sato M et al., J Dent 2005;33:475-484）。また，各接着界面の微細構造の走査型電子顕鏡観察によって接着界面を構成する各部材のインタラクションを明らかとすることで接着メカニズムの解明にエビデンスを与える。特に，異なるエッチングモードで歯面処理をした際は，レジンモノマーの浸透性，重合性および形態学的な特徴は異なるため，この違いが接着耐久性に及ぼす影響についても検討を行う。これらの基礎的研究

からユニバーサルアドヒーシブ応用型次世代レジンセメントを用いた修復歯の寿命予測への根拠とともに，耐久性に優れた接着システムの開発や臨床術式の確立に知見を与える。

② 渡航先での活動内容

渡航の目的

留学先のクレイトン大学では，以前より接着試験に疲労の要素を加えた新しい試験法を行っており，試験に必要な繰り返し荷重が可能な試験機を 2 台有している。私が所属する研究室および関連施設には，このような機器が無いため，接着疲労試験を行うことは困難である。そのため，留学先としてクレイトン大学を選択した。また，現地の研究者と交流を深めることでアメリカにおける歯科事情を知ることで，今後の研究の方向性を探ることも目的のひとつである。

活動内容

実験① 初期接着および接着耐久性について

ユニバーサルアドヒーシブ応用型次世代レジンセメントの接着耐久性については，繰り返し荷重負荷が可能な万能試験機を用いて検討した。すなわち，現在市販されているレジンセメントのうち，自己接着性を有する製品（RelyX Universal alone および BeautiLink SA alone）とともに，自己接着性レジセメントにユニバーサルアドヒーシブを併用するレジンセメント（RelyX Universal+SBU および BeautiLink SA +BBX）を用いた。また，対照としてプライマーを併用する従来型のレジンセメント PV5 を用い，被着体としてヒト象牙質を用いた。接着試験用試片の製作に際しては，＃600 番の耐水性研磨紙で研削した象牙質面を使用した。自己接着性レジンセメントに関しては，練和したセメント泥を塗布，照射を行った。一方，ユニバーサルアドヒーシブ併用型レジンセメントに関しては，各製造者条件に従ってアドヒーシブの塗布，照射を行い，レジンセメントにて接着させ，これを接着試片とした。セメント接着に際しては，内径 4.0 mm，高さ 2.5 mm のステンレス製ロッドに練和したセメント泥を塗布

し，被着象牙質面に静置後，40 秒間光照射を行う条件および光照射を行わない条件の 2 条件とした。試験片の製作後，これらを 24 時間水中に試片を保管，インストロン万能試験機（Instron, Type 5500R）を用いて，クロスヘッドスピード 1.0 mm/min の条件で剪断接着強さを求めた。これを疲労接着試験の初期荷重の基準値とした。

Staircase method (Draughn R (1979) J Dent Res1093-1096）を応用した疲労接着耐久性試験を ElectroPuls E1000 machine（図１）を用いた。すなわち，得られたせん断接着強さの約 50 %の荷重を，20 Hz の条件で繰り返し 50,000 回施行し，この規定回数に達する前に試験片が脱落した場合は，初期荷重の約 10%を減じ，試験片が生存した場合は，逆に荷重を増加することで段階的にその荷重負荷を変動させ，最終的に試験片の脱落個数および負荷荷重からその疲労接着耐久強さを計算式から求めるものである。

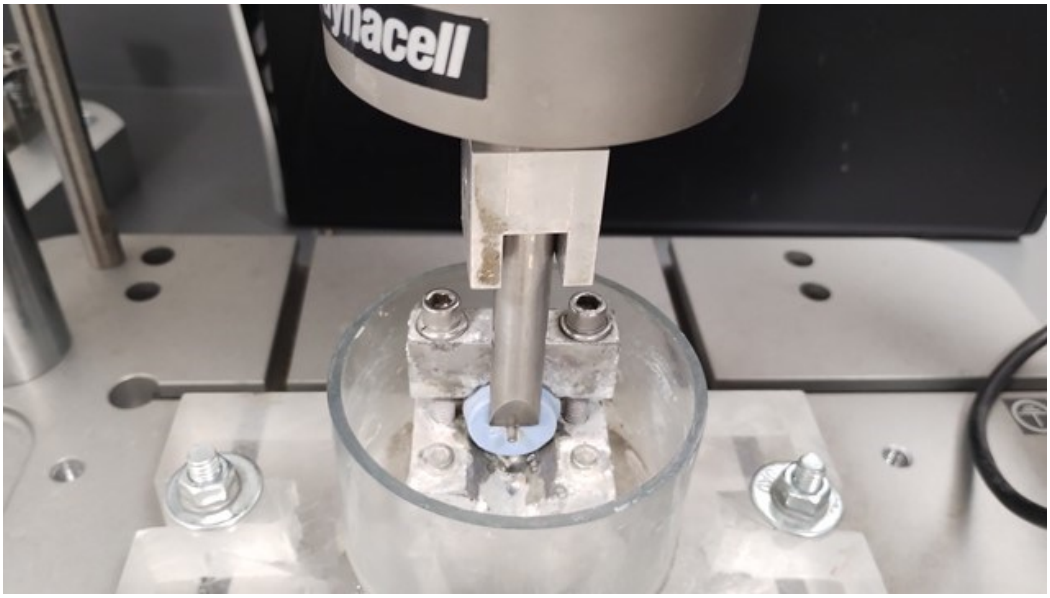


図 1 接着耐久性試験

実験②　レジンセメントの曲げ強さおよび曲げ疲労強さ試験

使用したレジンセメントの曲げ特性を求めた。すなわち，ISO4049 に準じて，25×2×2mm の棒状試片を試作後，曲げ強さおよび弾性係数を求めた。上述の疲労試験を応用の同様のパラメーターを使用して，曲げ疲労強さを求めた。

7　研究結果・成果

実験①から得られた結果を表 1 に示す。

Resin cement	SBS (MPa) Dual-cure	SBS (MPa) Dual-cure	SFS (MPa) Dual-cure	SFS (MPa) Self-cure	Ratio (SFS/SBS) Dual-cure	Ratio (SFS/SBS) Self-cure
RelyX Universal alone	34.2 (3.7)	28.7 (3.6)	22.9 (3.6)	19.2 (2.9)	0.67	0.67
RelyX Universal+ SBU	39.1 (2.9)	37.9 (4.3)	24.7 (4.0)	23.7 (2.7)	0.63	0.63
BeautiLink SA alone	21.8 (3.1)	18.7 (1.8)	11.0 (1.5)	10.2 (2.4)	0.50	0.54
BeautiLink SA+ BBX	32.3 (3.1)	28.0 (3.3)	20.6 (3.1)	18.2 (3.2)	0.64	0.65
PV 5	34.0 (3.2)	32.4 (4.0)	23.5 (2.3)	23.0 (3.3)	0.69	0.71

表１．剪断接着強さおよび接着疲労強さ

すなわち，RelyX Universal および BeautiLink SA のいずれの自己接着レジンセメントは，ユニバーサルアドヒーシブを併用した条件において，これを用いない自己接着レジンセメントのみの条件に比較して剪断接着強さおよび疲労強さ試験ともに有意に高い値を示した。また，セメントへの光照射条件で比較すると，いずれのセメントにおいても光照射条件は，光照射を行わない条件に比較して低い接着強さおよび接着疲労強さを示した。

実験②から得られた結果を表 2 に示す。

Resin cement	Flexural strength (MPa)	Elastic modulus (GPa)	Resilience (MJ/mm3)	Fatigue Flexural strength (MPa)	Ratio (FFS/FS)
RelyX Universal Dual-cure	98.7 (7.3)	5.0 (1.0)	1.01 (0.21)	9.8 (1.0)	0.099
RelyX Universal Self-cure	66.3 (6.3)	2.6 (0.3)	0.85 (0.14)	6.8 (1.1)	0.103
BeautiLink SA Dual Cure	96.6 (8.3)	7.7 (1.5)	0.64 (0.22)	9.3 (1.1)	0.096
BeautiLink SA Self Cure	92.7 (5.8)	6.7 (1.1)	0.67 (0.16)	8.8 (1.4)	0.094
PV 5 Dual cure	115.5 (9.9)	6.7 (1.1)	1.02 (0.2)	10.1 (1.7)	0.087
PV5 Self cure	99.1 (7.9)	4.1 (0.9)	1.24 (0.3)	8.8 (1.1)	0.088

表 2. 硬化レジンセメントの曲げ特性

いずれのセメントにおいても光照射条件は，光照射を行わない条件に比較して低い曲げ強さ，弾性係数および曲げ疲労強さを示した。また，セメント間で比較するとPV5 の dual-cure 条件は，他のセメントの dual-cure 条件に比較して有意に高い曲げ強さを示した。

得られた結果については，今後学会発表および論文として英文雑誌に投稿する予定である。

また，本留学期間中にロサンジェルスにある，3D プリンターの会社である spray tray という会社を訪問する機会を得た。3D プリンターの応用は，歯科においても急激に応用が進んでいる分野でもあるが，この技術の応用は現在限られた領域にとどまっている。特に，精度の問題とプリンティング時間がチェアサイドでの応用を困難としている。この spray tray 社では，新たな 3D プリンターの開発を進めており，コンポジットレジンインレー，アンレーおよびクラウンを 3D プリンターで製作する技術を有している。特に，プリンティング時間は，10 分程度でクラウンの製作を可能としており，その適合精度も高い。したがって，今後この技術を応用した 3D プリンティングは，世界中に広まる可能性を感じとった。

この留学期間中，当初予定していた歯質接着材料の研究については，十分な成果を得ることができたばかりかそれ以外の研究にも着手することが可能であった。これらの経験は，私にとって非常に有意義なものであり，今後の研究活動をよりグローバルなものにするとともに後進の育成においも非常に重要といえる。また，このような研究活動を行っていくことで，日本大学および日本の歯科界の発展に尽力していきたい所存である。

最後に，研究費の提供および長期海外出張の機会を許可，支えて頂いた関係各位に深く心から感謝いたします。

以　　上